Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 3, Fall 2024, p. 611-625

Postharvest L-phenylalanine Application on Shelf life and Physicochemical Characteristics of Sabrina Strawberry During Cold Storage

K. Manda-Hakki[1*], H. Hassanpour[2]

1 and 2- M.Sc Degree in Horticultural Science and Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Karim.manda1995@gmail.com)

Received: 30-03-2024
Revised: 08-06-2024
Accepted: 16-06-2024
Available Online: 16-06-2024

How to cite this article:
Manda-Hakki, K., & Hassanpour, H. (2024). Postharvest L-phenylalanine application on shelf life and physicochemical characteristics of Sabrina strawberry during cold storage. *Journal of Horticultural Science*, *38*(3), 611-625. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2024.87437.1334

Introduction

One of the most important global challenges is food waste, about 30% of the world's agricultural land is wasted. Every year, about 9.5 million tons of food is lost in the post-harvest phase of agriculture. Therefore, storage technology is very important to increase shelf life, preserve nutrition and maintain the taste of fresh products. Storing strawberry fruits at an inappropriate temperature after harvesting significantly increases weight loss, rotting and softening. L-phenylalanine as an amino acid is used for the biosynthesis of all phenolic compounds through the phenylpropanoid pathway. In recent years, the application of exogenous phenylalanine has been considered for use as a biologically safe molecule to maintain the postharvest quality of many horticultural crops. L-phenylalanine treatment has been reported to reduce the frost damage of plum fruit during cold storage by maintaining membrane integrity and improving reactive oxygen species (ROS) scavenging capacity. The treated fruit showed a higher DPPH inhibition capacity by increasing the accumulation of phenolic compounds and antioxidant enzyme activity. Aghdam *et al.* (2019) also reported that application of L-phenylalanine significantly reduced cold damage, membrane lipid peroxidation and ROS accumulation in tomato fruits during cold storage.

Materials and Methods

Strawberry fruits were obtained from a commercial greenhouse located in Urmia at full maturity stage. The fruits were transported to the laboratory of the Department of Horticultural Sciences in Urmia University with necessary precautions to prevent any mechanical damage to the product. The fruits were separated in terms of size and uniformity, so that the fruits were divided into 3 groups, one group as a control group and 2 groups were treated with concentrations of L-phenylalanine (4 and 8 mM). After drying the treated fruits, they were placed in zipped nylon bags and kept in a cold room for 15 days at a temperature of 3 ± 0.5 °C and a relative humidity of 90-95%. Also, three biological replicates at each time point were included in the analysis. The samples obtained at each of these times were used to evaluate skin color, titratable acidity, soluble solids, taste index, pH, weight loss, firmness, antioxidant capacity, total phenol content, and polyphenol oxidase enzyme activity.

Results and Discussion

The results showed that the effect of post-harvest treatment, storage time, and the interaction between them were statistically significant on all of the traits. In terms of color changes, the effect of post-harvest treatment ($p \leq 0.05$) was significant only in b* index, and the highest rate was observed in the 4 Phe treatment. The effect of storage time was also significant in a* and Chroma indices ($p \leq 0.05$) and the highest level was observed in both of these indices at day 5. The effect of storage time was also significant in TA ($p \leq 0.01$), the highest value was observed in day 10. In antioxidant capacity ($p \leq 0.05$), TSS ($p \leq 0.05$) and taste index ($p \leq 0.01$), the interaction effect between storage time and Phe treatment was significant. In antioxidant capacity, the highest percentage of DPPH inhibition was observed

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.87437.1334

in day 10 and 4 Phe treatment, in TSS, the highest rate was observed on day 10 and 8 Phe treatment, and in taste index, the highest rate was observed on day 15 and 4 Phe treatment. The effect of post-harvest Phe treatment and storage period on fruit weight loss was significant ($p \leq 0.05$) and ($p \leq 0.01$) respectively, and the lowest percentage of weight loss was observed in Phe 4 and day 5. In terms of firmness and total phenol content, only the effect of Phe treatment was significant ($p \leq 0.05$) and ($p \leq 0.01$), respectively, the highest level of firmness in the 4 Phe treatment and the highest amount of total phenol content in the 8 Phe treatment were observed. In the PPO enzyme, only the effect of storage time ($p \leq 0.05$) was significant.

Conclusion

According to the obtained results, the 4 Phe treatment is the best concentration of phenylalanine to increase the shelf life of harvested strawberry fruits under cold storage.

Keywords: Amino acid, Fruit firmness, Titratable acid, Total phenol

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص. ۶۱۱-۶۲۵

کاربرد پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر ماندگاری و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی نگهداری در سردخانه

کریم مندا حکی[۱]*- حمید حسن‌پور[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷

چکیده

توت‌فرنگی یکی از میوه‌هایی است که به‌دلیل رنگ، شکل، عطر و طعم آن معروف و به‌دلیل محتوای بالای ترکیبات فعال زیستی مانند ویتامین C، ویتامین E، بتا کاروتن و آنتوسیانین‌ها، یکی از مهم‌ترین میوه‌ها از نظر اقتصادی در سراسر جهان می‌باشد اما این میوه در برابر بیماری‌ها و پوسیدگی بسیار آسیب‌پذیر است. یکی از چالش‌های مهم جهانی ضایعات مواد غذایی است. از ترکیبات شیمیایی نظیر اسیدهای آمینه می‌توان جهت افزایش ماندگاری پس از برداشت به‌عنوان یک تیمار مناسب استفاده کرد. در این پژوهش اثر تیمار پس از برداشت ال_فنیل‌آلانین در غلظت‌های (صفر، ۴ و ۸ میلی‌مولار) و زمان انبارمانی (۵، ۱۰ و ۱۵ روز) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' طی مدت انبارمانی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله، بیشترین مقدار شاخص رنگ b^* در تیمار ۴ میلی مولار، مواد جامد محلول (تیمار ۸ میلی‌مولار)، شاخص طعم (تیمار ۴ میلی‌مولار)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (تیمار ۴ میلی‌مولار) و محتوی فنل کل (تیمار ۸ میلی‌مولار) بود. همچنین کمترین درصد کاهش وزن و کاهش سفتی در تیمار ۴ میلی‌مولار مشاهده شد. بطور کلی نتایج بدست آمده نشان داد که می-توان از تیمار ۴ میلی‌مولار ال-فنیل‌آلانین به‌عنوان مناسب‌ترین غلظت برای افزایش ماندگاری پس از برداشت توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اسیدآمینه، اسیدیته قابل تیتراسیون، سفتی بافت میوه، فنل کل

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria* × *ananassa* Duch) یک میوه مهم اقتصادی است که در سراسر جهان مصرف می‌شود و به‌دلیل رنگ، شکل، عطر، طعم و بافت لذیذ منحصر به فرد خود معروف می‌باشد (Khalifa *et al.*, 2016). همچنین توت‌فرنگی به‌دلیل محتوای بالای ترکیبات فعال زیستی مانند ویتامین C، ویتامین E، بتا کاروتن و آنتوسیانین‌ها، یکی از مهم ترین میوه‌ها از نظر اقتصادی در سراسر جهان می‌باشد. با این حال، این میوه‌ها دارای سرعت تنفس بالایی هستند که باعث می‌شود ماندگاری پس از برداشت آن کاهش یابد. آسیب مکانیکی و عفونت ناشی از میکروب‌ها نیز عوامل مهمی هستند که در تغییر رنگ، استحکام، کیفیت و تلفات پس از برداشت دخالت دارند (Piechowiak *et al.*, 2019; Chu *et al.*, 2020).

به‌طور خاص، توت‌های برداشت شده سطوح اسید آبسیزیک را در مقایسه با شرایط عادی افزایش می‌دهند که منجر به افزایش سرعت فرآیند رسیدن و در نتیجه پیری میوه می‌شود (Chen *et al.*, 2014). یکی از چالش‌های مهم جهانی ضایعات مواد غذایی است که حدود ۳۰ درصد از مساحت زمین کشاورزی جهان در حال هدر رفتن است. هر سال حدود ۹/۵ میلیون تن غذا در مرحله پس از برداشت کشاورزی از بین می‌رود (Bishop *et al.*, 2021). بنابراین، فناوری انبارداری برای افزایش ماندگاری، حفظ تغذیه و حفظ طعم کالاهای تازه اهمیت زیادی دارد (Brizzolara *et al.*, 2020; Holler *et al.*, 2023).

نگهداری میوه‌های توت‌فرنگی در دمای نامناسب پس از برداشت به‌طور قابل توجهی کاهش وزن، ایجاد پوسیدگی و نرم شدن آن را افزایش می‌دهد (Gol *et al.*, 2013). با این حال، قرار گرفتن در معرض دمای پایین نیز ممکن است باعث ایجاد آسیب سرمایی شود

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Karim.manda1995@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jhs.2024.87437.1334

که بر کیفیت میوه تأثیر منفی می‌گذارد (Bustamante *et al.*, 2016).

یکی از ترکیبات شیمیایی استفاده شده برای افزایش نگهداری پس از برداشت میوه‌ها، اسیدهای آمینه می‌باشند. اسید آمینه، ترکیب آلی دارای نیتروژن است و محصولات با پایه اسید آمینه در دهه گذشته به‌وسیله کشاورزان استفاده شده است و باعث بهبود عملکرد و رشد گیاهان مختلف شده است. مزایای استفاده از اسید آمینه با محتوای نیتروژن آلی در ارتباط با تعامل مثبت و سازنده با در دسترس بودن برخی مواد معدنی و مغذی است (Cerdna *et al.*, 2009). همچنین اسیدهای آمینه به‌عنوان مولکول‌های واسطه هورمون‌های گیاهی درون‌زا، به سنتز پروتئین کمک می‌کنند و تأثیر کمپلکس‌کننده‌ای بر مواد مغذی دارند (Taiz *et al.*, 2017).

واحدهای تشکیل دهنده پروتئین اسیدهای آمینه می‌باشند که در ایجاد مقاومت به بیماری‌ها و آفات، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی نقش مهمی دارند. فنیل‌استیک‌اسید نخستین ترکیب حدواسط برای سنتز ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین، لیگنین و تانن می‌باشد که اسیدآمینه فنیل‌آلانین ماده اصلی تشکیل دهنده‌ی این مولکول مهم زیستی است (Garde-Cerdan *et al.*, 2014). فنیل‌آلانین با نام شیمیایی 2-Amino-3-phenylpropanoic acid یکی از ۲۰ اسید آمینه اصلی می‌باشد که یک آلفا آمینو اسید با فرمول شیمیایی $C_9H_{11}NO_2$ است (Portu *et al.*, 2015).

فنیل‌آلانین به‌عنوان یک اسید آمینه برای بیوسنتز تمام ترکیبات فنلی از طریق مسیر فنیل پروپانوئید استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، کاربرد فنیل‌آلانین برون‌زا برای استفاده به‌عنوان یک مولکول ایمن بیولوژیکی برای حفظ کیفیت پس از برداشت بسیاری از محصولات باغبانی مورد توجه قرار گرفته است (Kumar Patel *et al.*, 2020).

در آزمایشی که در آن اثر تیمارهای پس از برداشت فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی میوه بادنجان (*Solanum melongena* L.) بررسی گردید، مشخص شد که تیمارهای ۷/۵ میلی‌مولار فنیل‌آلانین و ۳ میلی‌مولار سولفید هیدروژن جهت حفظ کیفیت میوه، تأخیر کاهش وزن و آسیب سرمازدگی و افزایش عمر انبارمانی میوه مناسب می‌باشند (Najafi *et al.*, 2021).

همچنین گزارش شده است که تیمار فنیل‌آلانین با حفظ یکپارچگی غشاء و بهبود ظرفیت مهار گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)آسیب سرمازدگی میوه آلو را در طول ذخیره‌سازی سرد کاهش می‌دهد میوه تیمار شده با افزایش انباشت ترکیبات فنلی و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، ظرفیت مهار DPPH بالاتری را نشان داد (Sogvar *et al.*, 2020). همچنین اقدم و همکاران (Aghdam *et al.*, 2019) نیز گزارش کردند که کاربرد فنیل‌آلانین به‌طور قابل توجهی آسیب ناشی از سرما، پراکسیداسیون لیپید غشایی و تجمع ROSرا در میوه‌های گوجه‌فرنگی در طی نگهداری سرد کاهش داد.

با توجه به اهمیت تغذیه‌ای توت‌فرنگی و عمر انبارداری کم آن نیاز به استفاده از روش‌هایی جهت افزایش عمر پس از برداشت و حفظ ویژگی‌های بیوشیمیایی آن ضروری می‌باشد، علی‌رغم اینکه فنیل‌آلانین اثرات مثبتی بر عمر پس از برداشت و ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه‌ها و سبزیجات دارد، اما با توجه به اطلاعات ما، تاکنون گزارشی مبنی بر استفاده از این ترکیب و اثرات آن بر فیزیولوژی پس از برداشت توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' ارائه نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی تأثیر پس از برداشت فنیل‌آلانین بر ماندگاری و حفظ ویژگی‌های بیوشیمیایی و کیفی توت‌فرنگی می باشد.

مواد و روش‌ها

میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' مورد آزمایش در این پژوهش از یک گلخانه تجاری واقع در ارومیه در مرحله بلوغ و رسیدگی کامل تهیه شد. میوه‌ها با احتیاط لازم جهت جلوگیری از وقوع هر گونه آسیب مکانیکی به محصول، به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. میوه‌ها از نظر اندازه و یکنواختی تفکیک گردیده، بطوری که میوه‌ها به ۳ گروه ۱۵ عددی تقسیم شده یک گروه به‌عنوان گروه شاهد و ۲ گروه به‌ترتیب با غلظت‌های ال–فنیل‌آلانین (۴ و ۸ میلی-مولار) به‌صورت محلول‌پاشی بر روی میوه‌ها تیمار شدند. بعد از خشک شدن میوه‌های تیمار شده، آن ها در داخل کیسه‌های نایلونی زیپ‌دار قرار داده شده و به‌مدت ۱۵ روز در دمای ۰/۵ ± ۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵–۹۰ درصد در سردخانه نگهداری شدند. همچنین سه تکرار بیولوژیکی در هر سه نقطه زمانی در آنالیز گنجانده شد. نمونه‌های بدست آمده در هر یک از این زمان‌ها جهت ارزیابی رنگ پوست، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، شاخص طعم، pH، کاهش وزن، سفتی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز مورد استفاده قرار گرفتند.

تغییرات رنگ پوست با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (CHROMA METER CR-400) ساخت ژاپن در دو نقطه‌ی پوست میوه اندازه‌گیری شد. در این روش مقادیر *L، *a، *b، Hue angle = arctan (b*/a*) و Chroma=(a*2+b*2)*1/2 اندازه‌گیری شدند (Pathare *et al.*, 2013).

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش ارکان و سلوک (Erkan & Selcuk., 2015) با کمی تغییر استفاده شد. همزمان با قرائت pH، عمل تیتراسیون توسط هیدروکسید سدیم (NaOH) ۰/۱ نرمال تا زمانی که pH عصاره به عدد ۸/۲ برسد انجام شد. بر اساس مقدار هیدروکسید سدیم مصرفی در جریان تیتراسیون مقدار اسید موجود در عصاره میوه به‌صورت میلی‌گرم اسید سیتریک در ۱۰۰ گرم محاسبه شد:

$$TA=(S\times N\times F\times E/C)\times 100$$

در این رابطه:TA مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون، S: مقدار NaOH مصرفی، N: نرمالیته، F: فاکتور NaOH، C: مقدار عصاره میوه، E: اکی‌والان اسید سیتریک

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول از رفراکتومتر دستی مدل (ATAGO) استفاده شد (Jalili Marandi., 2013). همچنین شاخص طعم هر نمونه نیز از طریق مقدار مواد جامد محلول (TSS) بر اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) بدست آمد (Pelayo-zaldivar., 2005). میزان pH آبمیوه نیز با دستگاه pH متر دیجیتالی مدل (pH-Mtere CG 824) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری درصد کاهش وزن میوه‌ها، قبل از قرار دادن میوه‌ها در انبار و در روز پنجم، دهم و پانزدهم وزن آنها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (CANDGL مدل ۳۰۰) اندازه‌گیری و درصد کاهش وزن با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Meng *et al.*, 2007).

$$\text{درصد کاهش وزن} = \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه تجزیه و سنجش بافت مدل (Texture analyser) ساخت انگلستان با پروب به قطر ۲ میلی‌متر بر روی میوه‌ها انجام گرفت و نتایج بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بیان شد (Jalili Marandi., 2013).

جهت اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از رادیکال آزاد DPPH (2,2-Diphenyl- picryl- Hydtazyl) استفاده شد. برای اندازه‌گیری توانایی عصاره‌ها در مهار رادیکال‌های آزاد، ۵۰ میکرولیتر از عصاره آماده شده را با ۱۹۵۰ میکرولیتر DPPH مخلوط کرده و سپس نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شدند و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Dynamica HALO DB_20) با طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شده و بر اساس فرمول زیر با درصد بازدارندگی محاسبه گردید (Nakajima *et al.*, 2004).

$$\text{درصد مهار رادیکال} = (A_{blank}_A_{sample} / A_{blank}) \times 100$$

که در این فرمول A blank ; جذب نمونه شاهد وA sample; جذب نمونه‌ها می‌باشد.

برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل به ۳۰ میکرولیتر از عصاره، ۶۰۰ میکرولیتر معرف فولین‌سیوکالتو ۱۰ درصد و ۹۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از گذشت ۶ دقیقه ۴۸۰ میکرولیتر کربنات‌سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه گردید و حجم نهایی به ۱۲۰۰ میکرولیتر رسانده شد (Du *et al.*, 2009). سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱/۵ لی ۲ ساعت در محل تاریکی در دمای اتاق نگهداری شدند. بعد از این مدت جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل(Dynamica HALO DB_20) قرائت گردید. نتایج بر حسب میلی‌گرم معادل اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه بیان شد.

تهیه عصاره آنزیمی: هموژن حاصل از خیساندن و خرد کردن ۵۰۰ میکرولیتر از آبمیوه تهیه شده در ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار pH=7.5 متشکل از ۱ درصد پلی‌وینیل پیرولیدون (pvp)و ۱ میلی‌مولار EDTA به‌عنوان یک عصاره آنزیمی برای ارزیابی آنزیم استفاده شد. محتوای پروتئین پس از سانتریفیوژ به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری شد (Bradford., 1976).

برای سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO) از روش پیزوکارو و همکاران (Pizzocaro, 1993) بر اساس اکسیداسیون کاتکول استفاده شد. مقدار ۲/۵ میلی‌لیتر ماده بافری را به ۰/۵ میلی لیتر عصاره آنزیمی اضافه کرده و پس از قرار دادن به‌مدت ۵ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۰۰ نانومتر به‌مدت سه دقیقه اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیمی عبارت از میزان تغییر PPO به مقدار ۰/۰۰۱ در دقیقه در یک میلی‌لیتر از عصاره آنزیم بود.

$$\text{فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (واحد در دقیقه در ۱۰۰ گرم وزن تر)} = (\Delta A\times 1000)/(0/001\times 25)$$

ΔA =اختلاف جذب

25 =میزان گرم آنزیم به کار رفته

پژوهش حاضر بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با تعداد ۱۵ میوه در هر تکرار در هر مرحله نمونه‌برداری انجام شد. فاکتور اول غلظت‌های مختلف فنیل‌آلانین در سه سطح صفر، ۴ و ۸ میلی‌مولار و فاکتور دوم زمان انبارمانی در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ روز بود. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه واریانس صفات نشان داد که تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین اثر معنی‌داری بر b^* رنگ (۵ درصد)، کاهش وزن (۵ درصد)، سفتی بافت میوه (۵ درصد) و محتوی فنل کل (یک درصد) داشت. همچنین اثر معنی‌داری زمان انبارمانی نیز بر صفات a^* (۵ درصد)، Chroma (۵ درصد)، اسیدیته قابل تیتراسیون (یک درصد)، کاهش وزن (یک درصد) و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (۵ درصد) بود. در برخی از صفات نیز اثر متقابل بین تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و مدت زمان انبارمانی مشاهده شد، این اثر معنی‌دار بر مواد جامد محلول (۵ درصد)، شاخص طعم (یک درصد) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۵ درصد) بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طول نگهداری در انبار سرد

Table 1- ANOVA for the effect of post-harvest application of L-phenylalanine on the physicochemical characteristics of strawberries cv. Sabrina during cold storage

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		a^*	b^*	L^*	Chroma	Hue	کاهش وزن Weight loss	pH
فنیل‌آلانین Phenylalanine (P)	2	1.86^{ns}	14.01*	8.61^{ns}	9.62^{ns}	31.1^{ns}	0.18*	0.25^{ns}
زمان انبارمانی Storage time (ST)	2	18.1*	5.97^{ns}	5.61^{ns}	29.01*	1.49^{ns}	2**	0.29^{ns}
P × ST		4.40^{ns}	1.88^{ns}	5.23^{ns}	8.88^{ns}	1.07^{ns}	0.030^{ns}	0.073^{ns}
خطا Error	4	4.93	4.02	7.40	7.99	15.04	0.062	0.036
ضریب تغییرات C.V (%)	18	7.84	16.45	9.39	9.27	16.69	16.14	4.69

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *:non-significant, and significant at the 1% and 5% of probability levels, respectively

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طول نگهداری در انبار سرد

Table 1 continued- ANOVA for the effect of post-harvest application of L-phenylalanine on the physicochemical characteristics of strawberries cv. Sabrina during cold storage

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		اسیدیته قابل تیتراسیون TA	مواد جامد محلول TSS	طعم TSS/TA	سفتی بافت میوه Fruit firmness	ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant capacity	محتوی فنل کل Total phenol content	آنزیم پلی‌فنل اکسیداز PPO activity
فنیل‌آلانین Phenylalanine (P)	2	0.04^{ns}	3.89*	0.10^{ns}	0.017*	661.4**	70379.2**	13792^{ns}
زمان انبارمانی Storage time (ST)	2	0.19**	2.89*	3.83*	0.0009^{ns}	61.35^{ns}	9730^{ns}	113348*
P × ST		0.035^{ns}	2.64*	4.55**	0.004^{ns}	126.9*	9061^{ns}	370^{ns}
خطا Error	4	0.021	0.85	0.81	0.005	50.84	5535.5	25733
ضریب تغییرات C.V (%)	18	12.78	10.36	11.52	11.07	11.11	10.1	71.9

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *:non-significant, and significant at the 1% and 5% of probability levels, respectively.

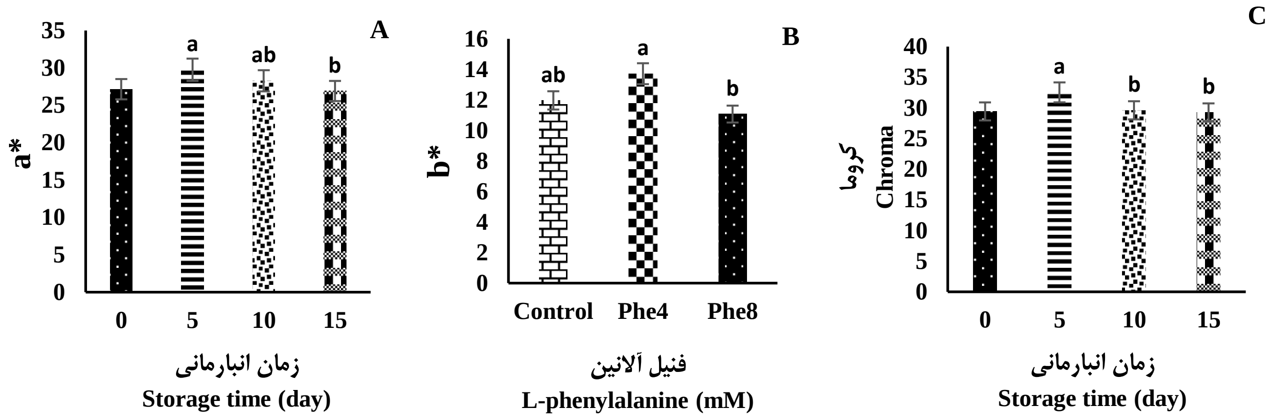
تغییرات رنگ: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، برخی از شاخص‌های رنگی دچار تغییر شده‌اند. اثر تیمار پس از برداشت فنیل آلانین فقط بر شاخص *b در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱) که بالاترین میزان آن در تیمار ۴ میلی‌مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد (شکل ۱). البته اثر فنیل‌آلانین در شاخص‌های*L* ،a، Chroma و Hue معنی‌دار نبود که این نشان‌دهنده اثر مثبت فنیل آلانین بر حفظ این شاخص‌ها می‌باشد (جدول ۱). اثر زمان انبارمانی در شاخص‌های *a و Chroma در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقادیر هر دوی این شاخص‌ها در روز ۵ انبارمانی مشاهده گردید و در زمان‌های دیگر کاهش یافت (شکل ۱). یکی از شاخص‌های کیفی و مهم بازارپسندی، رنگ میوه است. با گذشت زمان و همزمان با شدت گرفتن تخریب رنگدانه‌ها تحت واکنش‌های آنزیمی و غیرآنزیمی میزان این شاخص‌های رنگی کاهش می‌یابد. همچنین در میوه‌ها و سبزی‌ها با گذشت زمان انبارمانی در اثر افزایش pHو شدت تنفس، رنگدانه‌های آن‌ها تجزیه شده و در نتیجه کیفیت ظاهری و رنگی آن کاهش می‌یابد (Daraei Garmakhany *et al.*, 2021).

اسیدیته قابل تیتراسیون: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر مدت زمان انبارمانی بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت فرنگی رقم 'سابرینا' در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱) و بیشترین مقدار آن در روز ۱۰ انبارمانی مشاهده گردید (شکل ۲). همچنین اثر تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین بر اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' معنی‌دار نبود. یکی از ویژگی های مهم در تعیین کیفیت میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون می‌باشد و اسید قابل تیتراسیون با غلظت اسیدهای ارگانیک موجود در میوه رابطه مستقیمی دارد (Akhtar *et al.*, 2010). میزان اسیدهای آلی پس از برداشت میوه‌ها به مواد جامد محلول و سرعت تجزیه این اسیدها بستگی دارد. تجزیه اسیدهای آلی نیز به سرعت تنفس بستگی دارد. از آنجا که ماده اولیه واکنش‌های آنزیمی تنفس، اسیدهای آلی می‌باشند، انتظار می‌رود طی مدت زمان انبارمانی اسیدیته میوه کاهش و مقدار pH آن افزایش یابد (Taherpour *et al.*, 2020). همچنین فنل‌ها به کاهش تنفس و تولید اتیلن کمک کرده و در مجموع سرعت فرآیند متابولیکی و مصرف اسیدهای آلی را کاهش می‌دهد (Asghari *et al.*, 2019). کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون در زمان انبارمانی به دلیل تغییرات متابولیکی میوه ناشی از مصرف شدت اسیدهای آلی در فرآیند تنفس می‌باشد (Akhond *et al.*, 2022).

مواد جامد محلول: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری بر میزان مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی مدت زمان انبارمانی داشت (جدول ۱). بیشترین مقدار TSS در روز ۱۰ و در تیمار ۸ میلی‌مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد (شکل ۳). یکی از شاخص‌های کیفی مهم که رابطه بالایی با ساختار میوه دارد مواد جامد محلول می‌باشد. میوه حاوی قندهایی مانند نشاسته، گلوکز، فروکتوز, ساکارز می‌باشد که مقادیر بالای آن‌ها در دوره رسیدن میوه و پس از برداشت به‌دلیل هیدرولیز نشاسته افزایش می‌یابد (Davarpanah *et al.*, 2013). با گذشت زمان و از دست دادن رطوبت میوه، غلظت مواد جامد محلول افزایش می‌یابد. از سوی دیگر طی فرآیند تنفس، ترکیبات پلی‌ساکاریدی دیواره سلولی تجزیه و به قندهای محلول تبدیل شده و در نهایت مواد جامد محلول به شدت افزایش می‌یابد. در نتیجه عواملی که سبب کاهش و یا ممانعت از تجزیه دیواره سلولی می‌گردند از افزایش بیش از حد مواد جامد محلول جلوگیری می‌نمایند (Shahimoridi & Dastjerdi, 2020). در طی محلول‌پاشی بر روی توت‌فرنگی با ۱۰۰ میکرومولار فنیل‌آلانین باعث افزایش مواد جامد محلول گردید (Mohseni *et al.*, 2015).

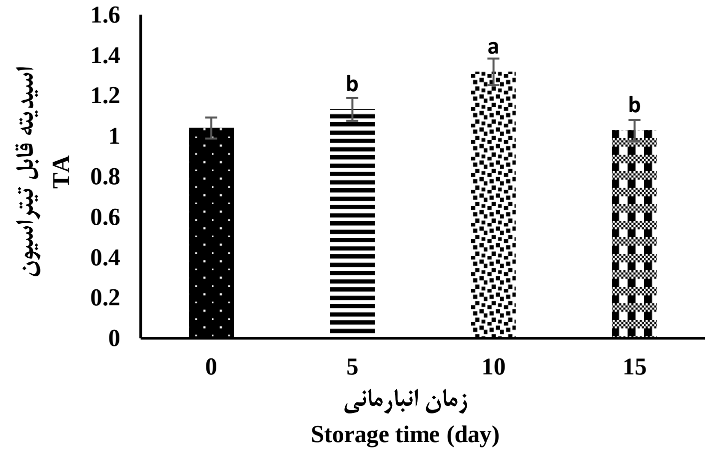
شاخص طعم: بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین بر شاخص طعم میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری داشت. میوه‌های تیمار شده با فنیل‌آلانین نسبت به گروه شاهد با گذشت زمان اثر مثبت‌تری بر شاخص طعم میوه‌ها گذاشتند، بطوری‌که بیشترین میزان شاخص طعم در زمان سوم و در تیمار ۴ میلی مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد. (شکل ۴). شاخص طعم یکی از شاخص‌های کیفی و مهم بازارپسندی می‌باشد که وابسته به دو شاخص اسیدیته قابل تیتراسیون و مواد جامد محلول می‌باشد. در صورتی‌که مواد جامد محلول میوه بالا رفته و اسیدیته قابل تیتراسیون آن کاهش یابد، شاخص طعم نیز افزایش می‌یابد.

pH: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، هیچ یک از فاکتورهای مدت زمان انبارمانی، تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و اثر متقابل بین آنها اثر معنی‌داری بر میزان pH میوه نداشتند و مقدار اولیه آن (۴/۰۹) بود.



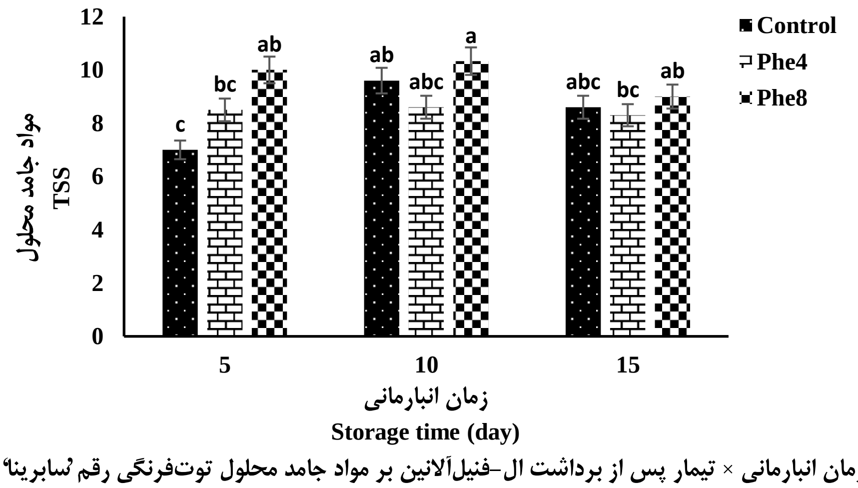
شکل ۱- اثر زمان انبارمانی بر شاخص a* (A) و Chroma (C) و تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر شاخص b* (B) رنگ میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی ۱۵ روز انبارمانی

Figure 1- The effect of storage time on a* (A) and Chroma (C) and postharvest L-phenylalanine treatment on b* (B) of strawberry cv. Sabrina fruit during 15 days of storage (DMRT, $p\leq 0.05$)



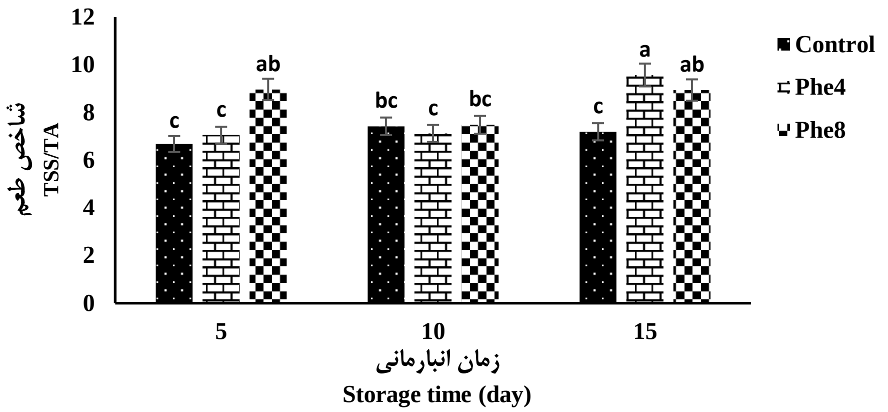
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر زمان انبارمانی بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی ۱۵ روز انبارمانی

Figure 2- The effect of storage time on the TA of strawberry cv. Sabrina fruit during 15 days of storage (DMRT, $p\leq 0.05$)



شکل ۳- اثر متقابل زمان انبارمانی × تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر مواد جامد محلول توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی ۱۵ روز انبارمانی

Figure 3- The interaction effect of storage time ×postharvest treatment of L-phenylalanine on soluble solids of strawberry cv. Sabrina fruit during 15 days of storage (DMRT, $p\leq 0.05$)



شکل ٤- اثر متقابل زمان انبارمانی × تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر شاخص طعم توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی ۱۵ روز انبارمانی

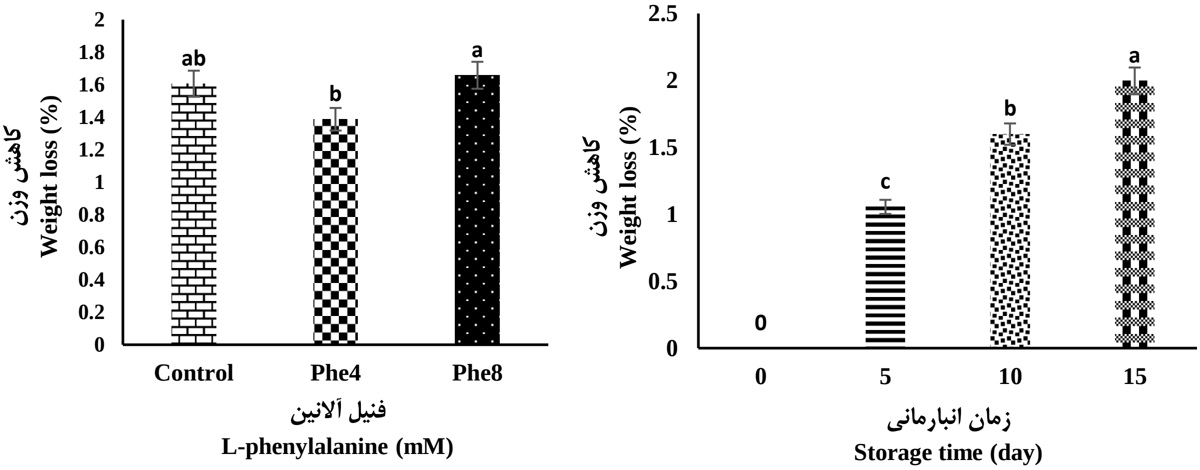
Figure 4- The interaction effect of storage time ×postharvest treatment of L-phenylalanine on the strawberry cv. Sabrina fruit taste index during 15 days of storage (DMRT, *p≤0.05*)

کاهش وزن: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، اثر تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و مدت زمان انبارمانی بر درصد کاهش وزن میوه به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود. البته اثر متقابل بین این دو معنی‌دار نبود. میزان کاهش وزن با مدت زمان انبارمانی ارتباط مستقیمی داشت و هر چه زمان انبارمانی بیشتر می‌شد درصد کاهش وزن میوه‌ها نیز افزایش یافت، بطوری‌که بیشترین درصد کاهش وزن در زمان ۱۵ روز مشاهده شد. همچنین کمترین درصد کاهش وزن در تیمار ۴ میلی‌مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد (شکل ۵). وزن میوه یکی از شاخص‌های مهم کیفیت میوه می‌باشد که به مرور زمان با توجه به شرایط نگهداری کاهش می‌یابد. در دوره پس از برداشت دو عامل مهم باعث از دست دادن آب و کاهش وزن محصول می‌شود: نخست قطع شدن رابط آبی میوه با گیاه مادری و دوم افزایش تعرق از سطح میوه که یک فرایند فیزیولوژیکی می‌باشد و منجر به از دست دادن رطوبت محصول می‌گردد (Treviño Garza *et al.*, 2015). یکی از ویژگی‌های بسیار مهم جهت ارزیابی کیفی محصول، کاهش وزن می‌باشد که به میزان تعرق و تنفس میوه مربوط می‌شود. میوه توت‌فرنگی به‌دلیل پوست نازک خود مستعد از دست دادن آب می‌باشد. این امر بر بازارپسندی محصول تأثیر منفی گذاشته و سبب نرم شدن بافت، تغییر در رنگ و عطر و طعم میوه، تسریع فرایند پیری، رشد پاتوژن‌ها و سرمازدگی می‌گردد (De Bruno *et al.*, 2023). با گذشت زمان انبارمانی و افزایش تبخیر و تعرق به دلیل یکسان نبودن فشار بخار آب در فضای بین سلولی بافت‌ها و اتمسفر احاطه کننده میوه از یک سو و نیز تشدید فرآیندهای تنفسی از سوی دیگر کاهش وزن میوه‌ها در طی زمان انبارمانی امری طبیعی می‌باشد (Faz *et al.*, 2016; Quintana *et al.*, 2021). احمدخانی و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که تیمار پس از برداشت فنیل آلانین باعث جلوگیری از کاهش وزن میوه زغال اخته می‌گردد.

همچنین نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2021) نیز مشاهده نمودند که تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین باعث جلوگیری از کاهش وزن بادنجان می‌شود. نتایج ما با نتایج این دو گزارش مطابقت دارد.

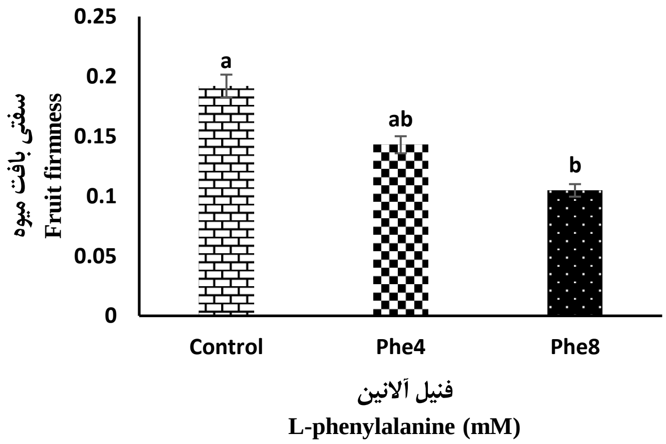
سفتی بافت میوه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی داری بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' داشت. سفتی بافت میوه در تمامی تیمارها کاهش یافت اما تیمار ۴ میلی‌مولار فنیل‌آلانین نسبت به تیمار ۸ میلی‌مولار نرمی بافت میوه کمتری را نشان داد (شکل ۶). یکی از رایج‌ترین پارامترهای فیزیکی که برای ارزیابی فرآیند نرم شدن و رسیدن میوه استفاده می‌شود، سفتی میوه می‌باشد (Hong *et al.*, 2014). همچنین از شاخص‌های مهم جهت نگهداری میوه، مقبولیت توسط مصرف‌کننده و بازارپسندی محصولات باغبانی می‌باشد (Valero *et al.*, 2003). نرمی بافت میوه در اثر تغییرات در ساختار دیواره سلولی بخصوص کاهش همبستگی سلول به سلول، تغییرات در بافت و ساختار میوه به علت کاهش آب و حل شدن پکتین‌ها است (Perkins-Veazie, 1995). افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های درگیر در هیدرولیز دیواره سلولی در طی رسیدن و پس از برداشت باعث نرم شدن میوه می‌گردد که با تولید اتیلن مرتبط می‌باشد (Valero & Serrano, 2010). همچنین پراکسیداسیون لیپیدی غشاء بر اثر تخریب غشاء نیز سفتی بافت میوه را کاهش می دهد. رادیکال‌های آزاد پراکسید هیدروژن و سوپراکسید از محصولات حدواسط و نهایی پراکسیداسیون لیپیدی غشاء هستند که در فرآیند رسیدگی و نرم شدن بافت میوه نقش ویژه‌ای را ایفا می‌کنند (Mo *et al.*, 2008). در گزارش نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2021) نیز فنیل‌آلانین سرعت نرم شدن بافت بادنجان را کاهش داد که با نتایج ما مطابقت دارد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل آلانین بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین میزان ظرفیت آنتی-اکسیدانی در زمان ۱۰ روز و در تیمار ۴ میلی‌مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد (شکل ۷). از آسیب‌های مهم بافتی که ممکن است در اثر قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش ها رخ دهد، افزایش تولید گونه‌های اکسیژن آزاد است. تجمع بیش از حد ROS باعث کاهش سیالیت غشا، انتقال یونی، فعالیت آنزیمی و سنتز پروتئین‌ها می‌گردد و در نهایت مرگ سلولی را به همراه خواهد داشت (Ranjbar Malidarreh *et al.*, 2019). بطور کلی افزایش ظرفیت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط مستقیمی با افزایش مدت زمان انبارمانی دارد (Sayyari & Gharibi, 2016Sowmyashree *et al.*, 2021;). در طی مطالعه‌ی مشاهده گردید که تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه انبه شد (Patel *et al.*, 2023). نتایج ما با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. بنابراین تیمار فنیل‌آلانین باعث افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی می‌گردد، القای فعالیت آنتی‌اکسیدانی احتمالاً تجمع ROS را کاهش می‌دهد، که به القای مسیر فنیل پروپانوئید مربوط می‌شود که منجر به تجمع فلاونوئیدهایی می‌شود که فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند.



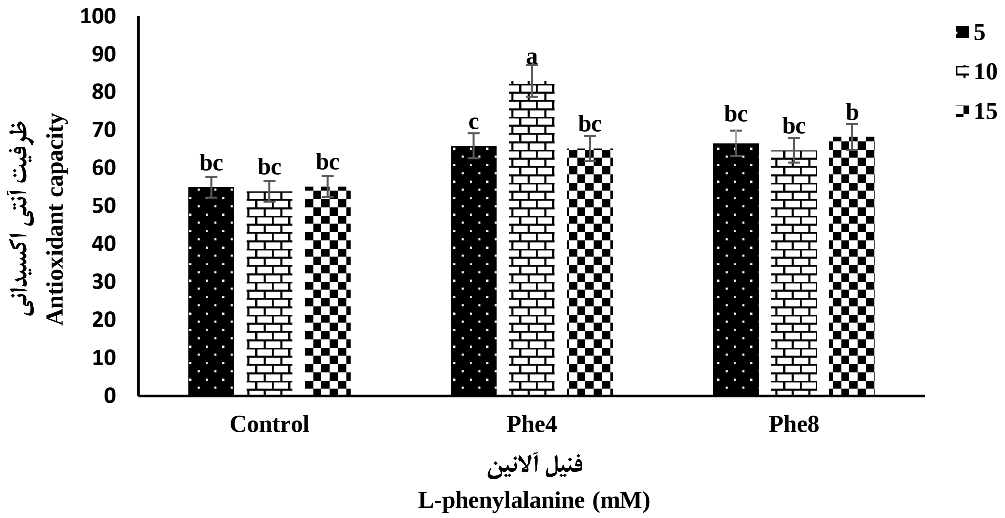
شکل ۵- اثر تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین و زمان انبارمانی بر کاهش وزن میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی ۱۵ روز انبارمانی

Figure 5- The effect of postharvest L-phenylalanine treatment and storage time on weight loss of strawberry 'Sabrina' fruit during 15 days of storage (DMRT, $p\leq 0.05$)



شکل ٦- اثر تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی ۱۵ روز انبارمانی

Figure 6- The effect of postharvest L-phenylalanine treatment on the firmness of the strawberry cv. Sabrina fruit tissue during 15 days of storage (DMRT, $p\leq 0.05$)

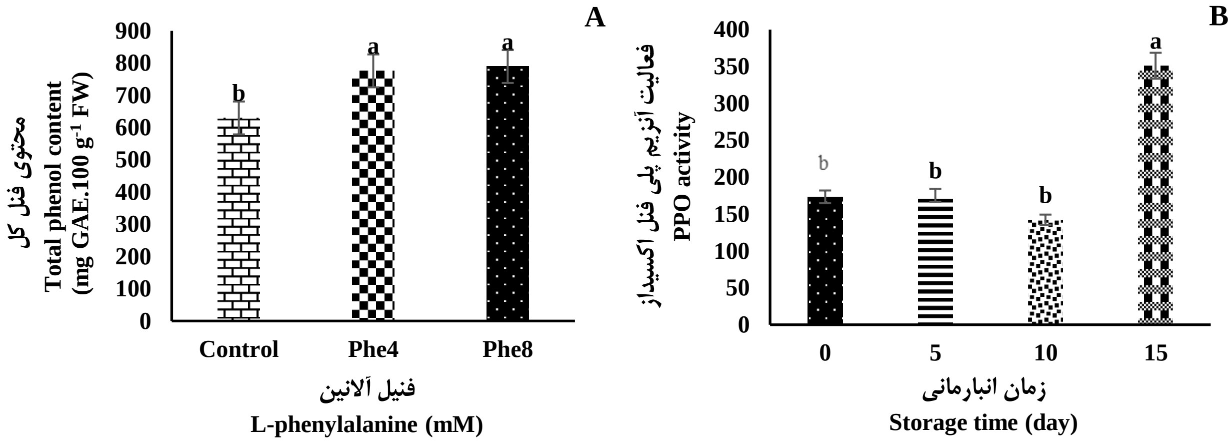


شکل ۷- اثر متقابل تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی ۱۵ روز انبارمانی

Figure 7- The interaction effect of postharvest L-phenylalanine treatment and storage time on antioxidant capacity of strawberry cv. Sabrina fruit during 15 days of storage (DMRT, *p≤0.05*)

محتوی فنل کل: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر محتوی فنل کل میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' داشت. بیشترین میزان فنل کل در تیمار ۸ میلی‌مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد (شکل ۸ A). مدت زمان انبارمانی و اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین اثر معنی‌داری بر محتوی فنل کل نداشتند. (جدول ۱). توت‌فرنگی یکی از میوه‌هایی است که به انواع سیستم‌های ضد اکسایشی غیر آنزیمی مانند ویتامین ث، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و سایر متابولیت‌های ثانویه مجهز می‌باشد (Aminifard *et al.*, 2013). فنل ترکیبی ساده با خواص مختلف است که به‌صورت طبیعی توسط گیاهان تولید می‌گردد. گیاهان ترکیبات فنلی را در پاسخ به برخی ترکیبات پیام رسان که نقش دفاعی مهمی را دارند، آزاد می‌نمایند. پژوهشی نشان می‌دهد که رابطه مثبتی میان میزان فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد (Ghasemnezhad *et al.*, 2011). فنل‌ها در مکانیسم‌های دفاعی گیاه در مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن به‌منظور بقاء و جلوگیری از صدمات مولکولی و آسیب‌های میکروارگانیسم‌ها، حشرات و گیاه خواران نقش دارند (Vaya *et al.*, 1997). احمدخانی و همکاران (Ahmadkhani *et al.*, 2023) گزارش کردند که تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین باعث افزایش محتوی فنل کل می‌شود که نتایج ما با این گزارش مطابقت دارد.

آنزیم پلی‌فنل اکسیداز: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، مدت زمان انبارمانی در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد گذاشت و بیشترین میزان فعالیت آنزیم PPO در زمان ۱۵ روز مشاهده شد (شکل ۸ B). اما تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و اثر متقابل آن با مدت زمان انبارمانی اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تمامی بافت‌های گیاهی یافت می‌شود. سوبسترای آن ترکیبات فنلی حاوی یک حلقه آروماتیک با داشتن یک یا چندین گروه هیدروکسیل مانند فلاونوئیدها، آنتوسیانیدین‌ها، تیروزین و سینامیک اسید است (Unal *et al.*, 2011). فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز توسط میزان تنفس، غلظت عناصر غذایی، استحکام بافت میوه و آنتی‌اکسیدان‌ها تنظیم می‌گردد و عواملی همچون زمان برداشت و دما، ترکیب گازی اتمسفر و شرایط محیطی نیز بر فعالیت آن مؤثر می‌باشد (Khoshghalb *et al.*, 2007). مکانیسم‌های مختلفی جهت مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن در موجودات زنده وجود دارد که یکی از مهمترین آنها سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی است. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو پاسخ خود را از طریق تولید آنزیم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی داده و از تخریب بیشتر سلول‌ها جلوگیری می‌کنند (Prassad, 1997; Van & Clijsters., 1990). بنابراین این آنزیم نقش مهمی در برابر پوسیدگی‌های قارچی دارد (Yang *et al.*, 2011).



شکل ۸- اثر تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر محتوی فنل کل (A) و اثر زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (B) میوه توت فرنگی در طی ۱۵ روز انبارمانی

Figure 8- The effect of post-harvest L-phenylalanine treatment on the content of total phenol (A) and the effect of storage time on the activity of PPO enzyme (B) of strawberry cv. Sabrina fruit during 15 days of storage (DMRT, *p≤0.05*)

نتیجه‌گیری

این مطالعه به بررسی شاخص‌های کیفی و کمی توت‌فرنگی تیمار شده با فنیل‌آلانین در طی نگهداری سرد پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار پس از برداشت ال- فنیل‌آلانین تأثیر مثبتی در حفظ برخی از صفات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در طی دوره ۱۵ روزه انبارمانی داشت، به‌طوری‌که باعث افزایش شاخص b^* رنگ، و محتوای فنل کل شده و همچنین با حفظ یکپارچگی غشای سلولی از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد به‌وسیله ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی و تحریک مسیر فعال فنیل‌پروپانوئید از کاهش وزن میوه‌ها جلوگیری کرد. همچنین اثر متقابل بین تیمار پس از برداشت ال- فنیل‌آلانین و مدت زمان انبارمانی باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای مواد جامد محلول و شاخص طعم گردید که البته افزایش محتوای مواد جامد محلول ممکن است باعث کاهش عمر انبارمانی میوه شود. همچنین تیمار ال-فنیل‌آلانین نتوانست باعث کاهش سفتی میوه‌ها گردد. این پژوهش نشان داد که ما می‌توانیم از تیمار ال- فنیل‌آلانین به‌عنوان یک تیمار و روش مفید و سالم جهت حفظ برخی از ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی طی انبارمانی در سردخانه استفاده نمائیم که البته نیاز به بررسی بیشتر می‌باشد، زیرا در برخی از شاخص‌ها تأثیر مثبتی نداشت.

References

1. Aghdam, M.S., Moradi, M., Razavi, F., & Rabiei, V. (2019). Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. *Scientia Horticulturae, 246*, 818-25. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.074
2. Ahmadkhani, S., Soleimani, A., Razavi, F., & Khairi, A. (2023). The effect of post-harvest phenylalanine treatment on the physicochemical properties of cranberries during storage. *Journal of Iranian Horticultural Sciences, 53*(2), 295-308. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2022.325698.1943
3. Akhond, M., Heidarizadeh, F., & Kolahi, M. (2022). Comparative study of qualitative and chemical characteristics of Camarosa and Parus strawberry cultivars during 15 days of storage. *Developmental Biology, 14*(2), 43-52. https://doi.org/10.30495/jdb.2022.1941563.1270
4. Akhtar, A., Abbasi, N.A., & Hussain, A. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loguat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany, 42*, 181–188.
5. Aminifard, M., Aroiee, H., Azizi, M., Nemati, H., & Jaafar, H. (2013). Effect of compost on antioxidant components and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Central European Agriculture, 14*(2), 525-534. https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.2.1232
6. Asghari, M., Azarsharif, Z., Tajik, H., & Farrokhzad, A. (2019). Effect of galbanum gum coating combined with cumin essential oil and calcium chloride on quality and shelf life of sweet cherry (cv. Siah Mashhad). *Journal of Horticultural Science, 32*(4), 665-680. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.343066.2028

7. Bishop, G., Styles, D., & Lens, P.N.L. (2021). Environmental performance of bioplastic packaging on fresh food produce: a consequential life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, *317*, 128377. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128377
8. Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999
9. Brizzolara, S., Manganaris, G.A., Fotopoulos, V., Watkins, C.B., & Tonutti, P. (2020). Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Frontiers Plant Science*, *11*, 1–16. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00080
10. Bustamante, C.A., Monti, L.L., Gabilondo, J., Scossa, F., Valentini, G., Budde, C.O., & Drincovich, M.F. (2016). Differential metabolic rearrangements after cold storage are correlated with chilling injury resistance of peach fruits. *Frontiers in Plant Science*, *7*(September), 1–15. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01478
11. Cerdna, M., Snchez Snchez, A., Oliver, M., Juarez, M., & Snchez Andreu, J.J. (2009). Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. *Acta Horticulturae*, *830*, 481-488. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.830.68
12. Chen, J., Mao, L., Mi, H., Zhao, Y., Ying, T., & Luo, Z. (2014). Detachment-accelerated ripening and senescence of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. Akihime) fruit and the regulation role of multiple phytohormones. *Acta Physiologiae Plantarum*, *36*(9), 2441–2451. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1617-6
13. Chu, Y., Gao, C.C., Liu, X., Zhang, N., Xu, T., Feng, X., Yang, Y., Shen, X., & Tang, X. (2020). Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. *In: LWT*, *122*, 109054. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109054
14. Daraei Garmakhany, A., Mirzaei, H., & Shakarami, K. (2021). Investigation of the effect of flower and leaf ethanolic extract of *Humulus lupulus* plant on the shelf life and quality attributes of strawberry fruits. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *17*(109), 75-90. (In Persian). https://doi.org/10.52547/fsct.17.109.75
15. Davarpanah, J., Kiasat, A.R., Noorizadeh, S., & Ghahremani M. (2013). Nano magnetic double-charged diazoniabicyclo [2.2.2] octane dichloride silica hybrid: Synthesis, characterization, and application as an efficient and reusable organic–inorganic hybrid silica with ionic liquid framework for one-pot synthesis of pyran annulated heterocyclic compounds in water. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, *376*, 78–89. https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.04.020
16. Du, G., Li, M., Ma, F., & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry*, *113*, 557-562. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.025
17. Erkan, M., & Selcuk, N. (2015). The effects of 1-MCP treatment on fruit quality of medlar fruit (*Mespilus germanica* L. cv. Istanbul) during long term storage in the palliflex storage system. *Postharvest Biology and Technology*, *100*, 81–90. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.018
18. Faz, F.N., Mirdehghan, S.H., Karimi, H., & Alaei, H. (2016). Eeffect of thymol and menthol essential oils combined with packaging with celofan on the maintenance of postharvest quality of strawberry cv. Parus. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *47*(1), 81-91. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2016.58214
19. Garde-Cerdan, T., Santamaría, P., Rubio-Breton, P., Gonzalez-Arenzana, L., Lopez-Alfaro, I., & Lopez, R. (2014). Foliar application of proline, phenylalanine, and urea to tempranillo vines: Effect on grape volatile composition and comparison with the use of commercial nitrogen fertilizers. *LWT Food Science and Technology*, *60*, 684-689. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.028
20. Ghasemnezhad, M., Nezhad, M.A., & Gerailoo, S. (2011). Changes in postharvest quality of loquat (*Eriobotrya japonica*) fruits influenced by chitosan. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *52*(1), 40-45. https://doi.org/10.1007/s13580-011-0028-5
21. Gol, N.B., Patel, P.R., & Rao, T.V.R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology Technology*, *85*, 185–195. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008
22. Holler, M., Alberdi-Cedeno, J., Aunon-Lopez, A., Pointner, T., Martínez-Yusta, A., Konig, J., & Pignitter, M. (2023). Polylactic acid as a promising sustainable plastic packaging for edible oils. *Food Packag. Shelf Life 36*. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101051
23. Hong, K., Gong, D., Xu, H., Wang, S., Jia, Z., Chen, J., & Zhang, L. (2014). Effects of salicylic acid and nitric oxide pretreatment on the expression of genes involved in the ethylene signaling pathway and the quality of postharvest mango fruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *42*, 205-216. https://doi.org/10.1080/01140671.2014.892012
24. Jalili Marandi, R. (2013). *Postharvest physiology (handling and storage of fruits, vegetables, ornamental plants and medicinal plants)*. 4nd Ed., Jahad University Press, West Azerbaijan Branch, 624 P. (In Persian)

25. Khalifa, H., Barakat, H.A., El-mansy, S.A., & Soliman, S.A. (2016). Effect of chitosan–olive oil processing residues coatings on keeping quality of cold-storage strawberry (*Fragaria × ananassa var.* Festival). *39*, 504–515. https://doi.org/10.1111/jfq.12213
26. Khoshghalb, H., Arzani, K., Tavakoli, A., Malakouti, M.J., & Barzegar, M. (2008). Quality of some Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) fruit in relation to pre-harvest $CaCl_2$, Zn and B sprays, harvest time, ripening and storage conditions. *Acta Horticulturae, 800*, 1027-1034. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.800.140
27. Kumar Patel, M., Maurer, D., Feygenberg, O., Ovadia, A., & Elad, Y. (2020). Oren-Shamir, M.; Alkan, N. Phenylalanine: A promising inducer of fruit resistance to postharvest pathogens. Foods, 9, 646. https://doi.org/10.3390%2Ffoods9050646
28. Meng, X., Li, B., Liu, J., & Tina, S. (2007). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry, 106*, 501-508. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.012
29. Mo, Y., Gong, D., Liang, G., Han, R., Xie, J., & Li, W. (2008). Enhanced preservation effects of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 88*, 2693-2699. https://doi.org/10.1002/jsfa.3395
30. Mohseni, F., Pakkish, Z., & Panahi, B. (2015). The role of foliar application of amino acids on vegetative and reproductive characteristics of strawberry (*Fragaria× ananassa*) cultivar Parous. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. (In Persian)
31. Najafi, R., Barzegar, T., Razavi, F., & Gharmani, Z. (2021). The effect of post-harvest treatments of phenylalanine and hydrogen sulfide on maintaining the quality and increasing the storage life of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries), 34*(4), 717-705. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i4.87237
32. Nakajima, J.I., Tanaka, I., Seo, S., Yamazaki, M., & Saito, K. (2004). LC/PDA/ESI-MS profiling and radical scavenging activity of anthocyanins in various berries. *Biomed Research International*, 241-247. https://doi.org/10.1155%2FS1110724304404045
33. Patel, M.K., Fanyuk, M., Feyngenberg, O., Maurer, D., Sela, N., Ovadia, R., Orenshamir, M., & Alkan, N. (2023). Phenylalanine induces mango fruit resistance against chilling injuries during storage at suboptimal temperature. *Food Chemistry, 405*, 134909. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134909
34. Pathare, P.B., Opara, L.U., & Al-Said, A.F. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed food: A review. *Food Bioprocess Technology, 6*(1), 36-60. https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9
35. Pelayo-Zaldivar, C., Ebeler, S.E., & Kader, A. (2005). Cultiver and harvest date effect on flavor and other quality attributes of California strawberries. *Journal of Food Quality, 28*, 78-97. https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005.00005.x
36. Perkins-Veazie, P. (1995). Growth and ripening of strawberry fruit. *Horticultural Reviews, 17*(8), 267-297. https://doi.org/10.1002/9780470650585.ch8
37. Piechowiak, T., Antos, P., Kosowski, P., Skrobacz, K., Jozefczyk, R., & Balawejder, M. (2019). Impact of ozonation process on the microbiological and antioxidant status of raspberry (*Rubus ideaeus* L.) fruit during storage at room temperature. *Agriculture Food Science, 28*(1), 35–44. https://doi.org/10.23986/afsci.70291
38. Pizzocaro, F., Torreggiani, D., & Gilardi, G. (1993). Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *Journal of Food Processing and Preservation, 17*, 21 30. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1993.tb00223.x
39. Portu J., López-Alfaro I., Gómez-Alonso S., López R., & Garde-Cerdán T. (2015). Changes on grape phenolic composition induced by grapevine foliar applications of phenylalanine and urea. *Food Chemistery, 180*, 171-180. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.042
40. Prassad, M.N.N. (1997). *Trace metals*, in: MNV Prasad plant ecophysiology, wiley, New York, pp: 207-249.
41. Quintana, S.E., Llalla, O., García-Risco, M.R., & Fornari, T. (2021). Comparison between essential oils and supercritical extracts into chitosan-based edible coatings on strawberry quality during cold storage. *The Journal of Supercritical Fluids, 171*, 105198. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105198
42. Ranjbar Malidarreh, T., Askari Sarcheshmeh, M.A., Babalar, M., Shokri Heydari, H., & Ahmadi, A. (2019). Changes in some physiological and biochemical characteristics of plum (*Prunus salicina* cv. Flavor supreme pluot) affected by salicylic acid and iron pretreatment during storage with two different temperatures. *Iranian Journal of Horticultural Science, 55*(3), 525-539. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.278214.1620
43. Sayyari, M., & Gharibi, R. (2016). Effects of lavender essential oil and methyl salicylate on gray mold control and postharvest quality of strawberry. *Journal of Horticultural Science, 29*(4), 662-670. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v29i4.42384

44. Shahimoridi, A., & Dastjerdi, A.M.M. (2020). The effects of ethanol extract of red mangrove and eucalyptus leaves on antioxidant capacity, enzyme activity and malondialdehyde of fresh banana fruit. *Journal of Food Researches*, *30*(1), 15-28. (In Persian)
45. Sogvar, O.B., Rabiei, V., Razavi, F., & Gohari, G. (2020). Phenylalanine alleviates postharvest chilling injury of plum fruit by modulating antioxidant system and enhancing the accumulation of phenolic compounds. *Food Technojogy & Biotechnology Original Scientific*, 1330-9862. https://doi.org/10.17113%2Fftb.58.04.20.6717
46. Sowmyashree, A., Sharma, R., Rudra, S.G., & Grover, M. (2021). Layer-by-Layer coating of hydrocolloids and mixed plant extract reduces fruit decay and improves postharvest life of nectarine fruits during cold storage. *Acta Physiologiae Plantarum*, *43*(8), 112. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03256-8
47. Taherpour, L., Hosseinifarahi, M., & Radi, M. (2020). Application of pomegranate peel extract (PPE) with sodium alginate (Alg-Na) coating on fruit decay control and quality postharvest of sweet lemon fruit cv Mahali. *Journal of Food Technology and Nutrition*, *17*, 107-122. (In Persian)
48. Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., & Murphy, A. (2017). Physiology and plant development. *Porto Alegre: Artmed*. 858.
49. Treviño Garza, M.Z., García, S., Del Socorro Flores González, M., & Arévalo Niño, K. (2015). Edible active coatings based on pectin, pullulan, and chitosan increase quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Food Sciences*, *80*(8), 1823-1830. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12938
50. De Bruno, A., Gattuso, A., Ritorto, D., Piscopo, A., & Poiana, M. (2023). Effect of edible coating enriched with naturpal antioxidant extract and Bergamot essential oil on the shelf life of strawberries. *Foods, 12*(3), 488. https://doi.org/10.3390/foods12030488
51. Unal, U.M., Yabaci, S.N., & Sener, A. (2011). Extraction, partial purification and characterization of polyphenol oxidase from tea leaf (*Camellia sinensis*). *GIDA*, *36*(3), 137-144.
52. Valero, D., & Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC-Taylor and Francis, Boca Raton, FL, USA. https://doi.org/10.1201/9781439802670
53. Valero, D., Martinez-Romero, A.D., Valverde, J.M., Guillen, F., & Serrano, M. (2003). Quality improvement and extension of shelf life by 1- methylcyclopropene in plumas affected by ripening stage at harvest. *Food Sciences Emergency and Technology*, *4*, 339–348. https://doi.org/10.1016/S1466-8564 (03)00038-9
54. Van Assche, F., & Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ*, *13*, 195–206. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01304.x
55. Vaya, J., Belinky, P.A., & Aviram, M. (1997). Antioxidant constituents from licorice roots: Isolation, structure elucidation and antioxidative capacity toward LDL oxidation. *Free Radical Biology and Medicine*, *23*(2), 302-313. https://doi.org/10.1016/s0891-5849 (97)00089-0
56. Yang, Z., Cao, S., Cai, Y., & Zheng, Y. (2011). Combination of salicylic acid and ultrasound to control postharvest blue mold caused by *Penicillium expansum* in peach fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *12*, 310-314. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.04.010